53. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2011/2012

Experimentálna úloha celoštátneho kola kategórie A – zadanie

Táto experimentálna úloha pozostáva z dvoch samostatných úloh, pričom výsledok z prvej úlohy použijete v druhej úlohe.

1. Úloha

Meranie hmotnostnej tepelnej kapacity hliníka c_{Al} v teplotnom intervale 45 °C ÷ 65 °C

V prvej úlohe použijete nasledujúce pomôcky:

- plastový pohár s vrchnákom s otvorom pre teplomer
- digitálny teplomer
- hliníkový valček s otvorom v strede valčeka
- digitálne váhy
- digitálne stopky

Hmotnostnú tepelnú kapacitu hliníka c_{Al} určite na základe dvoch experimentálnych meraní:

- Prvý experiment – skúmajte ochladzovania vody v plastovom pohári bez hliníkového valčeka
- Druhý experiment – skúmajte ochladzovania vody v plastovom pohári s hliníkovým valčekom vloženom do vody

Pokles teploty vody v plastovom pohári bude dôsledkom tepelnej výmeny medzi obsahom v pohári a okolitým vzduchom. Táto tepelná výmena závisí lineárne od rozdielu teploty vody v pohári a teploty okolitého vzduchu podľa nasledujúceho vzťahu

$$\alpha\left(T - T_{\mathrm{ok}}\right)\mathrm{d}t = -C\,\mathrm{d}T\,, \tag{1.1}$$

kde α je konštanta, ktorá závisí od výšky hladiny vody v pohári, T_{ok} je teplota vzduchu v miestnosti, C je tepelná kapacita sústavy a t je čas. Tepelná kapacita vody s hmotnosťou m_{v1} v prvom experimente je

$$C_1 = m_{\mathrm{v1}} c_{\mathrm{v}}\,. \tag{1.2}$$

Tepelná kapacita vody s hmotnosťou m_{v2}, do ktorej je vložený hliníkový valček s hmotnosťou m v druhom experimente je

$$C_2 = m_{\mathrm{v2}} c_{\mathrm{v}} + m c_{\mathrm{Al}}\,, \tag{1.3}$$

kde $c_{\mathrm{v}} = 4\,180\ \mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$ je hmotnostná tepelná kapacita vody.

Riešenie rovnice (1.1) je

$$\left(T - T_{\mathrm{ok}}\right) = \left(T_{\mathrm{p}} - T_{\mathrm{ok}}\right)\mathrm{e}^{-\frac{\alpha}{C}t}\,, \tag{1.4}$$

kde T_{p} je počiatočná teplota vody v experimente z vašich experimentálnych dát.

Pre určenie tepelnej kapacitu C zo vzťahu (1.4) je výhodné tento vzťah linearizovať transformáciou na tvar

$$y = y_{\mathrm{p}} - \frac{\alpha}{C}\,t\,,\ \text{kde}\ \ y = \ln\left(T - T_{\mathrm{ok}}\right),$$

a ten graficky analyzovať.

Úlohy:

1.1 S použitím vzťahov (1.2) a (1.3) vyjadrite vzťah pre c_{Al} pomocou meraných veličín: hmotnosti m_{v1} teplej vody v prvom experimente, hmotnosti m_{v2} teplej vody v druhom experimente, hmotnosti m hliníkového valčeka a pomeru tepelných kapacít $K = \frac{C_1}{C_2}$, kde C_1 je tepelná kapacita vody v prvom experimente a C_2 je tepelná kapacita vody s hliníkovým valčekom v druhom experimente.
Výsledok zapíšte do *Odpoveďového hárku*.

1.2 Vykonajte prvý experiment! Merajte teplotu T_1 pri ochladzovaní vody v plastovom pohári bez hliníkového valčeka. Skúmajte vzťahy medzi teplotou vody T_1 a časom t v teplotnom intervale od 65 °C do 45 °C.
Zapíšte merané hodnoty do tabuľky v *Odpoveďovom hárku* spolu s hmotnosťou vody v pohári m_{v1} a teplotou okolitého vzduchu T_{ok}.

1.3 Vykonajte druhý experiment! Merajte teplotu T_2 pri ochladzovaní vody v plastovom pohári s hliníkovým valčekom. Skúmajte vzťahy medzi teplotou vody T_2 a časom t v teplotnom intervale od 65 °C do 45 °C.
Zapíšte merané hodnoty do tabuľky v *Odpoveďovom hárku* spolu s hmotnosťou vody v pohári m_{v2}, hmotnosťou hliníkového valčeka m a teplotou okolitého vzduchu T_{ok}.

1.4 Zostrojte príslušný graf a pomocou tohto grafu určite pomer $K = \frac{C_1}{C_2}$ a neistotu ΔK.
Výsledok zapíšte do *Odpoveďového hárku*.

1.5 Určite c_{Al} a neistotu Δc_{A} a výsledok zapíšte do *Odpoveďového hárku*.

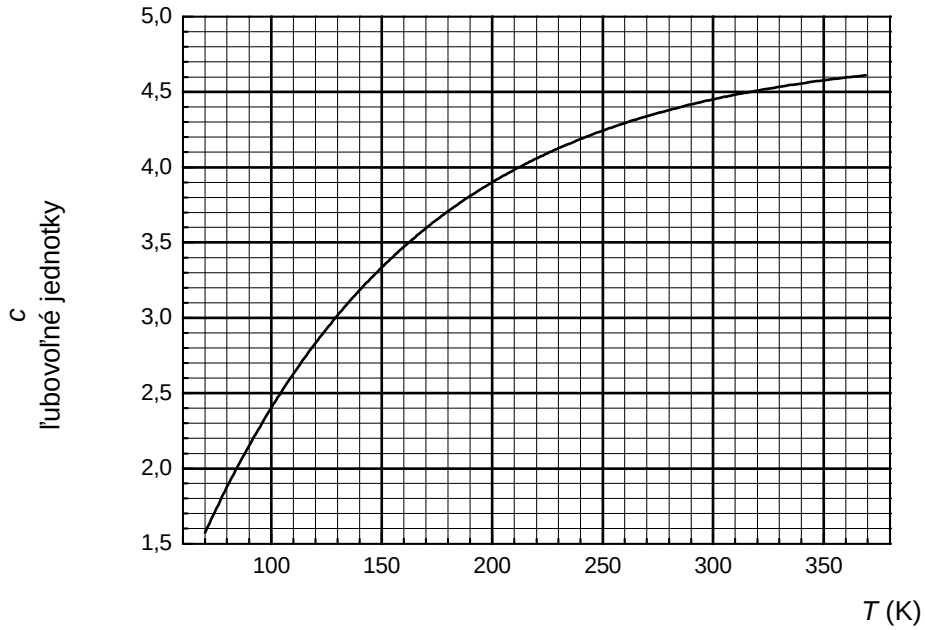
2. Úloha

Meranie merného skupenského tepla varu L ($J \cdot kg^{-1}$) kvapalného dusíka.

V tejto úlohe použijete nasledujúce pomôcky:

- Polystyrénový pohár s vrchnákom
- hliníkový valček s otvorom v strede valčeka
- digitálne váhy
- digitálne stopky
- špagát na vloženie valčeka do pohára z polystyrénu naplneného kvapalným dusíkom

Teplota varu kvapalného dusíka pri normálnom atmosférickom tlaku T_{vN} = 77 K = −196 °C. Ak nalejeme kvapalný dusík do pohára začne klesať hmotnosť dusíka v pohári v dôsledku vyparovania. Po vložení valčeka, ktorého teplota je rovná teplote okolitého vzduchu, do kvapalného dusíka, kvapalný dusík začne prudko vrieť dovtedy, kým teplota valčeka nedosiahne teplotu varu kvapalného dusíka. To zaregistrujeme tak, že kvapalný dusík akoby nakoniec urobil krátky malý gejzír. Pri tomto deji sa odparí určité množstvo dusíka. Potom opäť nastane samovoľné odparovanie dusíka z pohára. Z merania zmeny hmotnosti dusíka v pohári môžeme určiť, aké množstvo dusíka sa odparilo pri vrení dusíka po vložení valčeka.



Pri meraní pracujeme so širokým rozsahom teplotného merania (od teploty okolitého vzduchu až do teploty, pri ktorej vrie dusík), a preto musíme uvažovať teplotnú závislosť hmotnostnej tepelnej kapacity hliníka c_{Al} ako ukazuje graf na obrázku. Na osi y hmotnostná tepelná kapacita hliníka c_{Al} v ľubovoľných jednotkách. Použite výsledok časti 1.5 z 1. úlohy merania hmotnostnej tepelnej kapacity hliníka c_{Al} v teplotnom intervale 45°C ÷ 65 °C, aby ste normalizovali graf teplotnej závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity hliníka c_{Al} do jednotiek sústavy SI ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$).

UPOZORNENIE!

1) **Teplota varu kvapalného dusíka je -196 °C, preto s ním pracujte veľmi opatrne. Dávajte pozor, aby ste s ním neprišli do kontaktu, hlavne nechránenou časťou svojho tela!**
2) **Do kvapalného dusíka nevkladajte nič okrem meraného valčeka!**
3) **Pri vkladaní valčeka do kvapalného dusíka požiadajte dozor, aby Vám pomohol!**

Úlohy:

2.1 Zmerajte rýchlosť vyparovania dusíka z polystyrénového pohára s uzavretým krytom, pred vložením valčeka, počas varu po vložení valčeka a po skončení varu kvapalného dusíka! Svoje merania zapíšte do *Odpoveďového hárku*. Do tabuľky zaznamenajte časovú závislosť $M(t)$ pohára s dusíkom, ako aj časovú závislosť $m_{\mathrm{N}}(t)$ odpareného dusíka.

2.2 Z výsledkov merania zostrojte graf časovej závislosti $m_{\mathrm{N}}(t)$ odpareného dusíka. Daná závislosť, by mala obsahovať tri rôzne stavy.

2.3 Z časovej závislosti $m_{\mathrm{N}}(t)$ odpareného dusíka určte množstvo dusíka m_{N}, ktoré sa odparí v dôsledku ochladzovania hliníkového valčeka počas varu dusíka. Pri určení m_{N} berte do úvahy tepelnú výmenu medzi dusíkom a okolím pred vložením, počas vloženia a po vychladení valčeka na teplotu T_{vN}. Hodnotu m_{N} a neistotou merania Δm_{N} zapíšte do *Odpoveďového hárku*.

2.4 Pomocou výsledku časti 1.5 prvej úlohy normalizujte y-ovú os teplotnej závislosti hmotnostnej tepelnej kapacity hliníka c_{Al}. Predpokladajte, že v teplotnom intervale 45°C ÷ 65 °C je c_{Al} konštantná. Do Odpoveďového hárku zapíšte koeficient β konverzie z ľubovoľných jednotiek do jednotiek sústavy SI ($\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$)

$$c_{\mathrm{Al}}\left(\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}\right)=\beta\cdot c_{\mathrm{Al}}\left(\text{lubovolne jednotky}\right).$$

2.5 Z nameraných hodnôt určte skupenského tepla varu L kvapalného dusíka a výsledok s neistotou merania ΔL zapíšte do *Odpoveďového hárku*.
Uvažujte, že množstvo tepla, ktoré ponorený valček odovzdá kvapalnému dusíku po vložení je $Q=m\int_{T_{\mathrm{vN}}}^{T_{\mathrm{ok}}} c_{\mathrm{Al}}(T)\,\mathrm{d}T$.

VEĽA ŠŤASTIA PRI EXPERIMENTE!

53. ročník Fyzikálnej olympiády – *Experimentálna úloha celoštátneho kola kategórie A*

Autor úlohy: Ľubomír Mucha
Recenzia: Ivo Čáp
Redakčná úprava: Ľubomír Mucha, Ivo Čáp
Slovenská komisia fyzikálnej olympiády http://fo.uniza.sk
Vydal: IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2012